

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Návrh efektivního upínání složitých součástí

Design of efficient clamping of complex parts

Student:

Jakub Navrátil

Osobní číslo:

nav0162

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Zadání bakalářské práce

Student:

Jakub Navrátil

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Návrh efektivního upínání složitých součástí
Design of Efficient Clamping of Complex Parts

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Problematika upínání složitých součástí.
4. Návrh vlastního řešení daného problému.
5. Diskuze experimentů.
6. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:


ERDL, BERT P. *High-speed machinig*. Deaborn, Michigan : Society of Manufacturing Engineering, 2003. ISBN 0-87263-649-6.
SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.
STEPHENSON, D. A.; AGAPIOU, J. S. *Metal cutting theory and practice*. New York : Marcel Dekker, Inc., 1997. ISBN 0-8247-9579-2.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020


doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použil interní údaje a technické parametry získané od firmy ZLKL, s.r.o. Údaje a technické parametry jsou vlastnictvím firmy a ta se zveřejněním některých údajů nesouhlasí.

V Ostravě dne 15. května 2019.



.....

Podpis studenta

Prohlášení spolupracující osoby

Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 6 odst. 9
Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských studijních programech VŠB TU
Ostrava.

Spolupracující osoba: Tollrian Zdenek

ZLKL Loštice

Jméno a příjmení oprávněné osoby: Tollrian Zdenek

V Lošticích dne 25. 03. 2019



Podpis oprávněné osoby

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB - TUO“) má právo užit tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užit dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užit toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne: 15. Května 2019



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce: Jakub Navrátil

Adresa trvalého pobytu autora práce: Řimice 2, 783 21 Chudobín

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

NAVRÁTIL, J. *Návrh efektivního upínání složitých součástí: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2019, 48 s. Vedoucí práce: Vrba, V.

Bakalářská práce se zabývá moderním upínáním složitých součástí. V práci byl řešený obecný problém upnutí součástek a jeho vystředění. Poté se zabýváme problémem našeho upínacího problému kruhové součásti. Během pokusů bylo nutné upravit upínací nástroj na vystředění obrobku. Dále byly hledány další možnosti tohoto upínání pro další součástky.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

NAVRÁTIL, J. *Design of efficient clamping of complex parts: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2019, 48 p. Thesis head: Vrba, V.

The bachelor thesis concerns modern clamping of complex components. The general problem of clamping of components and its centering was solved. You may have a problem with your issue. It was possible to update the workpiece centering tool during the experiments. Others were looking for other possibilities of this clamping for other parts.

Obsah

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	6
ANNOTATION OF BACHELOR THESIS.....	6
Úvod.....	8
1. Obecná charakteristika daného problému.....	9
1.1. Původní upínání na ručním sklíčidle.	9
1.2. Historie firmy	10
2. Problematika upínání složitých součástí.	12
2.1. CNC obráběcí stroje.....	12
2.1.1. Odvod tepla	13
2.1.2. Automatika CNC strojů	13
2.1.3. Eliminace technologických nedostatků komponentů CNC stroje.....	14
2.1.4. Zpomalovací body	14
2.2. Upínání obrobků.....	14
2.2.1. Univerzální sklíčidlo.....	15
2.2.2. Upínání mezi hroty	16
2.2.3. Kleština	20
2.2.4. Upínací desky	21
2.2.5. Speciální upínací desky	23
3. Návrh vlastního řešení daného problému.....	24
3.1. První návrh elektromagnetického sklíčidla	25
3.2. Středění obrobku na magnetickém sklíčidle	26
3.3. Úprava elektromagnetické desky.....	27
3.4. Zautomatizování výroby.	28
3.5. Řešení upínání na dopravníku.....	29
3.6. EMAG VL5i	30
3.6.1. Posuvy EMAG VL5i.....	31
3.6.2. Výpis použitých nástrojů potřebné pro obrábění:.....	32
3.6.3. Tvorba CNC kódu.....	34
3.7. Možnosti dalších upínacích součástí.....	35
4. Diskuze experimentů.	38
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.....	39
Závěr	43
Poděkování	44
Seznam použité literatury:	45

Úvod

Obrábění je v dnešní době absolutně neodmyslitelně od veškeré produkce. Neustálým zvyšováním požadavků na hospodárnost a rychlost výroby je nutné neustále inovovat a vylepšovat. Zkrácení výrobního času a zlepšení hospodárnosti je možné dosáhnout díky lepším technologickým postupům. Jednou z důležitých operací při obrábění, kde je možné zkrátit výrobní čas je při upínání. V dnešní době je mnoho různých metod upínání a zvolit tu správnou, která je nejlepší pro daný obrobek nejideálnější není lehké. Je nutné, aby se obrobek samovolně neuvolnil při řezných a odstředivých silách a splňoval požadavky na bezpečnost.

Jednou z úspěšných firem v tomto oboru je firma ZLZL, s. r. o. Tato firma se snaží neustále modernizovat a upevnit své místo na trhu. Dodává pro velkou řadu velkých zákazníků. A pro splnění podmínek těchto zákazníků je nutné mít perfektní vybavení.

Na základě mého zadaného téma návrh efektivního upínání složitých součástí, jsem zahájil spolupráci s touto firmou.

Pro urychlení provozu zde navrhuji nové rychloupínání obráběné součástky pomocí magnetických sil. Jde o upínání součástí pro soustružení. Při tomto návrhu jsme museli dosáhnout vysokých upínacích sil, aby nedošlo k posunutí nebo dokonce k upadnutí obrobku z upínače. Při návrhu pro kruhové obrobky je nutné, aby bylo při technologii upínání dosaženo ideálního vystředění. Jelikož díky správnému a přesnému upnutí můžeme teprve dosáhnout ideálního obrobení.

1. Obecná charakteristika daného problému

1.1. Původní upínání na ručním sklíčidle.

Firma prováděla prvovýrobu na stroji CTX beta 800 za pomoci tří čelistí a ručního sklíčidla. Výroba byla provedena pomocí uchycení obrobku do tří čelistového sklíčidla pomocí čelistí se segmenty, které byly opatřeny zoubky. Provádění vzorkovacích kusů bylo velice náročné z hlediska malých styčných ploch. Během testovacích kusů se objevil jako největší technologický problém sražení hrany s požadovanou přesností. Součást byla obrobena na dvě upnutí.



Obrázek 1.1 – Výrobní stroj CTX beta 800TC ¹⁰

1.2. Historie firmy

Společnost ZLKL byla založena v roce 1993. V tomto roce zaměstnávala 45 zaměstnanců a jejím hlavním programem byla v pronajatých opravárenských prostorách výroba nábytkového kování a výsuvných roštů pro sedací soupravy. Milníkem ve vývoji firmy byl v roce 1996 počátek spolupráce s M.L.S. Holice, spol. s r. o. (Moteur Leroy Somer). Společnost ZLKL se začala zaměřovat na lisování, zpracování plechů, svařování dílů v ochranné atmosféře a obrábění litinových a ocelových dílů pro alternátory a elektromotory.

Firma je rozdělena na tři samostatné provozy. Dnešní převážná část výroby je pro elektrotechnický průmysl, vodohospodářský průmysl a v největším procentu pro automobilový průmysl. Přibližně 65% výroby je pro odběratele ze zahraničí. Firma se díky své flexibilitě dokáže velice dobře přizpůsobovat požadavků a postupu technologie. Proto dokáže dobře konkurovat i na celosvětovém trhu.¹



Obrázek 1.2 – Prvotní výrobní prostor¹



Obrázek 1.3 – Výrobek, jenž má v ZLKL jednu z největších zastoupení ¹

2. Problematika upínání složitých součástí.

Součásti, jež jsou geometricky nesouměrné, tvarově náročné a složité, můžeme označit za tělesa složitá, u kterých při pokusu o jejich upnutí vzniká velice náročný proces pro vytvoření vhodné technologie, či přípravku do kterého jej upneme. Možnosti upínací technologie a upínacích přípravků nám velice ovlivňuje stoj. Jak svými maximálními posuvy na jednotlivých osách, tak i výkonností vřetene. Z těchto důvodů plyne, že bývá nutné složité kusy obrábět případně na více strojích nebo je nutné využít několik upnutí součástí. Jsou to jediné možnosti, pokud nedojde ke správnému návrhu stroje a upínací technologie. V případě špatné volby dochází ke zdoluhavým prostožům strojů, několikanásobné délce obráběcího času, jež vede k obrovským finančním ztrátám firmy.

Mezi složité součásti můžeme například uvést různé druhy zápusťek, složitě tvarované vnitřky forem, součástky skříňového charakteru či součástky motorů, turbín a dalšími složitými součástkami z nejrůznějších mechanismů.

Proto se máme dnes možnost setkat se spoustou nekonvenčních metod obrábění. Dochází k úpravám normalizovaných kusů na upínání a univerzálnějších CNC strojů, které umožní zlepšit ekonomičnost a zmenšení náročnosti výroby.⁶

2.1. CNC obráběcí stroje

Označení CNC je z anglického názvu Computer Numerical Control machining machina. Tento název znamená počítačem číslicové řízení obráběcích strojů. Jde o řízení funkcí počítačem připojený ke stroji, které jsou zde zapsány programátorem pomocí alfanumerických znaků.

V obsahu jednotlivých programů se nachází kompletní výrobní postup k jednotlivým obráběným součástem. Program obsahuje informace o geometrii, rozměrech, technologické informace stroje, jako jsou posuvy v jednotlivých osách, rychlost posuvů, otáčky a další pomocné funkce jakou může být zapnutí chladicí kapaliny a mnoho dalších.

V těchto programech se také nachází funkce, které zajišťují automatickou výměnu nástroje či jiné technologické operace a to vše bez nutnosti zapojení obsluhy stroje.^{16,17}

2.1.1. Odvod tepla

Jedním z důležitých faktorů CNC strojů je odvod tepla. Bez správného či žádného odvodu tepla dochází ke špatnému odvodu třísky, brzkému zničení destičky a špatnému povrchu po obrábění.

Tento správný odvod tepla je realizovaný tlakovým chlazením prováděné tryskami, které přivádí chladicí medium co nejbližší k břítu nástroje. Tím dokážeme vytvořit optimální podmínky pro odvod třísky z místa řezu. Dále dochází ke zlepšení tvorby třísky a odvodu tepla, jež prodlužuje trvanlivost nástroje a zlepšuje obrobený povrch.^{16,17}

2.1.2. Automatika CNC strojů

Pro větší automatizovanou výroby se používá systém paletek. Jde o dopravník přivážející kusy upnuté do paletek přímo do pozice pro upínání. Tím jsme schopni minimalizovat chyby neproškolené obsluhy, případně při použití robota ji absolutně eliminovat. Dopravník se skládá ze sdružených pracovních stolů. Přesný posuv se realizuje díky kamínkům připevněným k paletce, které jezdí v přesné T drážce, aby nedocházelo k pohybu do nežádoucích stran. Samotný posuv je následně realizovaný motorem, ke kterému je přes ozubená kola připevněn řetěz, který posouvá jednotlivé paletky.

Dalším prvkem CNC strojů pro automatizaci je rychlá výměna nástrojů. Tato výměna je zde realizována dvěma způsoby. Jeden tento způsob je výměna nástrojů pomocí revolverové hlavy. Je velice rychlá a jednoduchá. Provádí se pouze otočením revolverové hlavy na požadovaný nástroj. Nevýhodou této výměny je omezený počet nástrojů na revolverové hlavě v případě složitějšího obrábění, kde je nutné používat větší množství nástrojů. Další problém je omezení prostoru pro upnutý obrobek. Není možné obrábět tvarově náročnější obrobky, aby nedocházelo k nabourání nevyužívaných nástrojů.

Druhou možností je výměna nástrojů díky manipulátoru či výměníku. Nástroj je odebrán z vřetene a je otočným ramenem přesunut do zásobníku nástrojů a z toho zásobníku přemístěn nový do vřetene. Zásobníky se konstruují jako diskové, kruhové, řetězové, velkokapacitní či centrálové.^{16,17}

2.1.3. Eliminace technologických nedostatků komponentů CNC stroje

V CNC strojích je mnoho pohyblivých součástí. Pohyb je realizovaný pohonem, například lineárním motorem, jenž může být synchronní nebo asynchronní, pastorkem a hřebem, díky šneku a hřebenu, či dnes zřejmě nejpoužívanější servopohony. Následuje propojení pohonu s kuličkovým šroubem.

Kuličkové šrouby, které zajišťují valivý odpor mezi tělesy, čímž redukuje tření, eliminují vůle, zajišťují vysoké životnosti a vysoké frekvence pohybu.^{16,17}

2.1.4. Zpomalovací body

Jde o body, kde dochází ke snížení rychlosti posuvu. Zpomalovací body jsou důležité pro dosažení přesné polohy vzhledem k obrobku. Jde o zpomalení rychloposuvu nebo mikroposuvu. Zpomalování pohybu dochází automaticky a nedochází k jeho naprogramování.^{16,17}

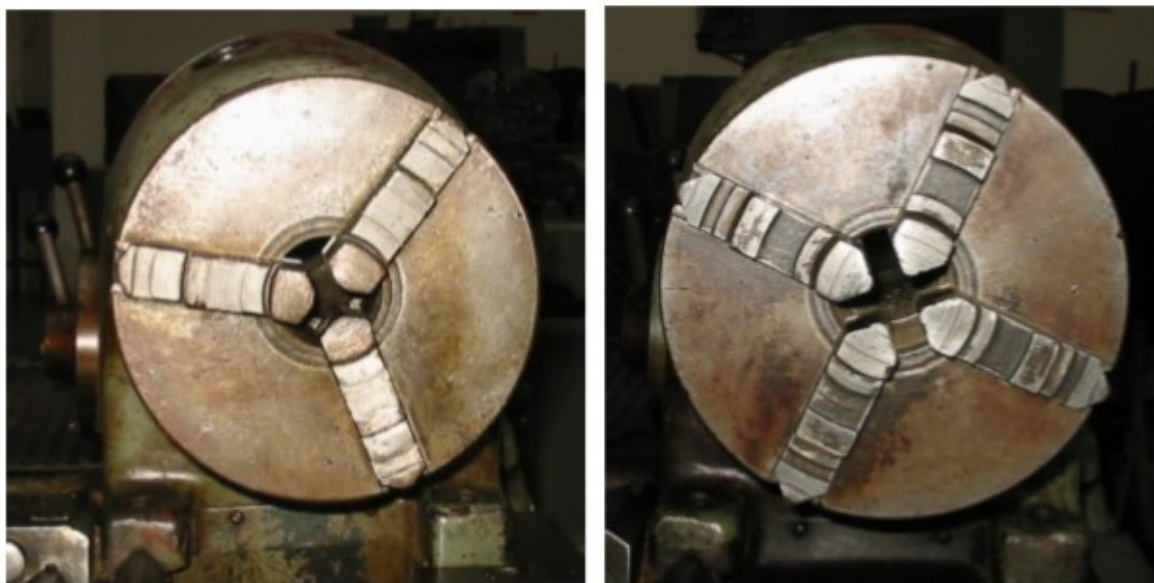
2.2. Upínání obrobků

Na upínání obrobku je kladeno spoustu požadavků. Mezi tyto požadavky patří například udržení obrobku ve správné poloze vůči nástroji, proto musí upínací soustava vyvinout dostatečnou sílu pro pevné upnutí a s požadovanou tuhostí. Tento postup bývá velice problémový pro tenkostěnné materiály, u nichž vlivem velkých upínacích sil dochází k velkému pnutí u obrobku. Z ekonomického hlediska je nutné navrhnout co nejjednodušší upínání s ohledem na kvalifikovanost pracovníků. Tato vlastnosti ovlivňuje rychlost upínání součástky do upínače a každé prodloužení upínání stojí pracovní čas stroje i zaměstnance.

Nesmíme však toto urychlení a zjednodušení vést k takovému bodu, že dojde k nebezpečí uvolnění součástky vlivem obráběcích odporů a odstředivých. U nesouměrných obrobků je nutné je vyvážit. Jestliže toto vyvážení neproběhlo, docházelo by ke špatné rotaci a možným vibracím součástky. Následkem tohoto by docházelo i k rychlému opotřebení ložisek ve vřetenu a častým opravám. Docházelo by i k vadným kusům následkem špatně fungujících ložisek.⁹

2.2.1. Univerzální sklíčidlo

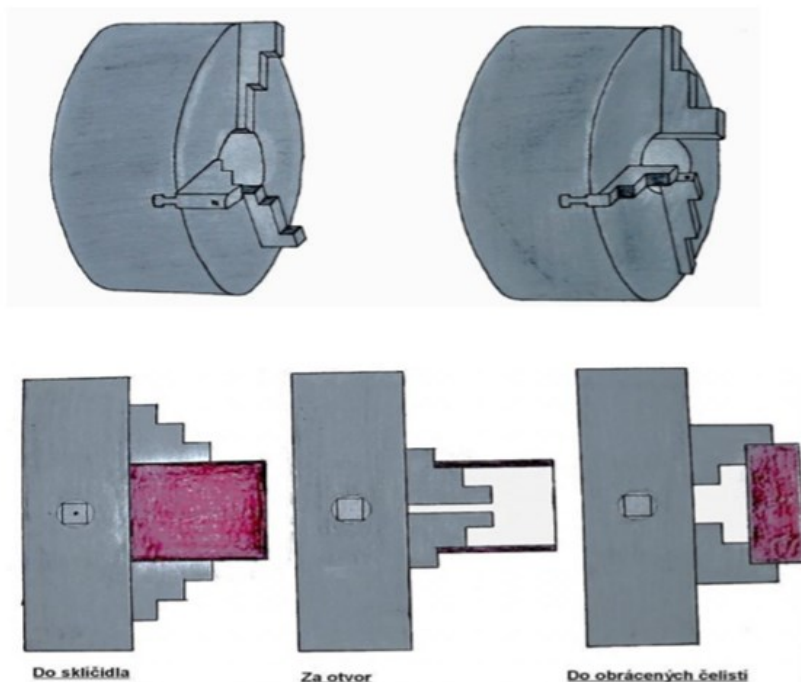
Upínání do univerzálního sklíčidla je v současné době nejvyužívanější. Bývá využíváno jak pro kusovou výrobu, tak i v sériové výrobě. Univerzální sklíčidla jsou opatřena čelistmi. Tyto čelisti mohou být nejrůznějších tvarů a rozměrů. Z velké části bývají tyto čelisti i upravované a specializované firmami pro jejich potřebu upínání nejrůznějších součástí, které jim zákazník zadá pro výrobu. Čelisti mohou být pro uchopení za vnitřní nebo vnější průměry. Záleží na jejich orientaci. Těchto čelistí může být na sklíčidle různé množství, ale nejvyužívanější jsou tříčelistové a čtyřčelistové.^{9,6}



Obrázek 2.1 – Ukázka druhů sklíčidel podle počtu čelistí⁹

Tříčelistová sklíčidla jsou používána pro upínání válcových součástí. U čtyřčelistových sklíčidel můžeme taktéž upínat válcové součásti, ale i čtyřhranné.

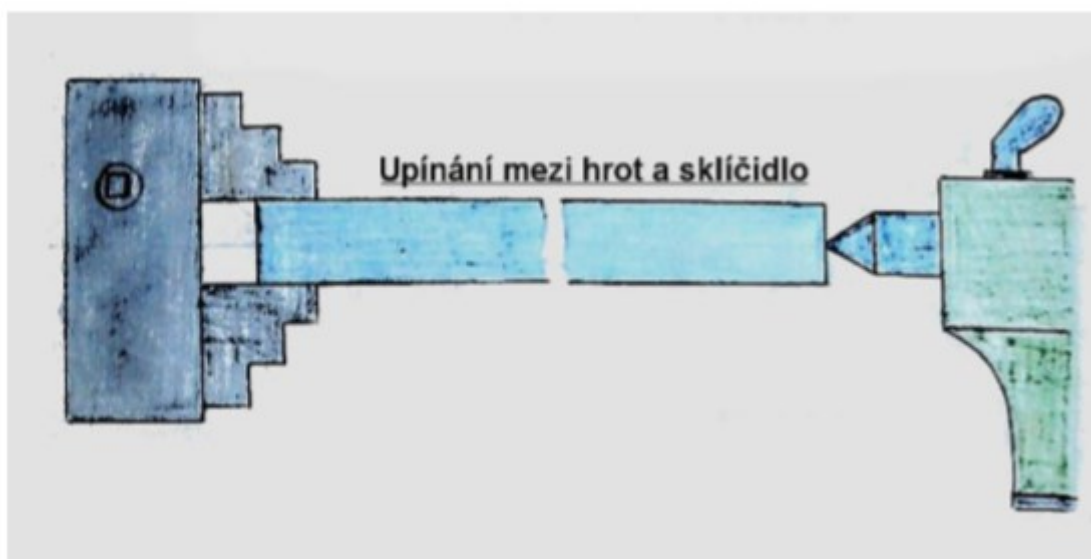
Tvar univerzálního sklíčidla je válcový. Z jedné strany sklíčidla jsou posuvné drážky, na které přijde umístit čelist již upravená dle upínacích potřeb. Drážkování je rozdělena do metrické soustavy, kde je hrot zubu pod úhlem 60° nebo palcové soustavy s úhlem zubů 90° .^{9,6}



Obrázek 2.2 – Ukázka upínání do sklíčidla⁹

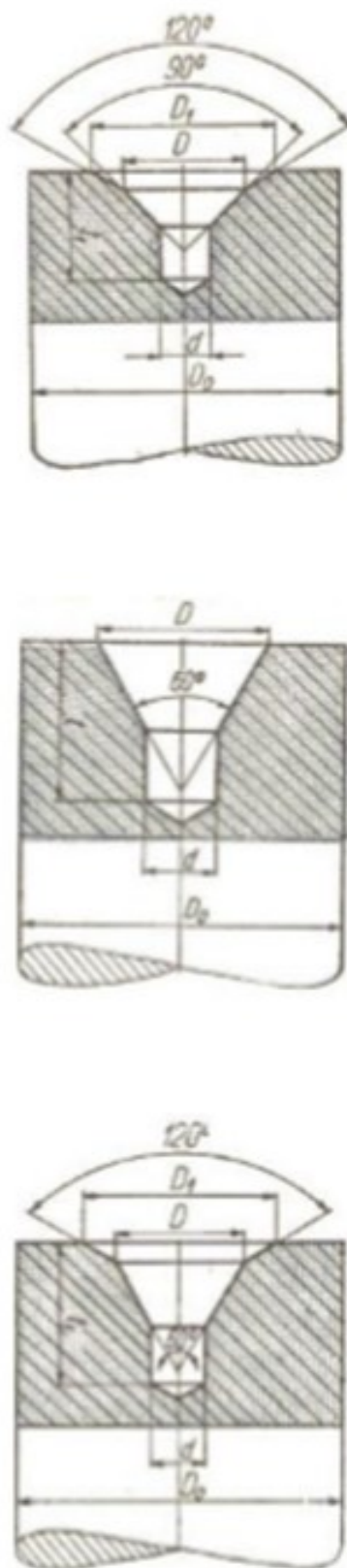
2.2.2. Upínání mezi hroty

Pro součásti velkých rozměrů na délku je lepší provést upínání mezi hroty než upnout do univerzálního sklíčidla. Pro tento typ upnutí je nutné mít v čelech součástí navrtané středící důlky. Středící důlky jsou navrtány středícími vrtáky dle ČSN norem. Upínání mezi hroty vyžaduje několik dalších pomocných vybavení. Mezi tyto vybavení patří unášecí desku, lunetu a unášecí srdce.^{6,8}

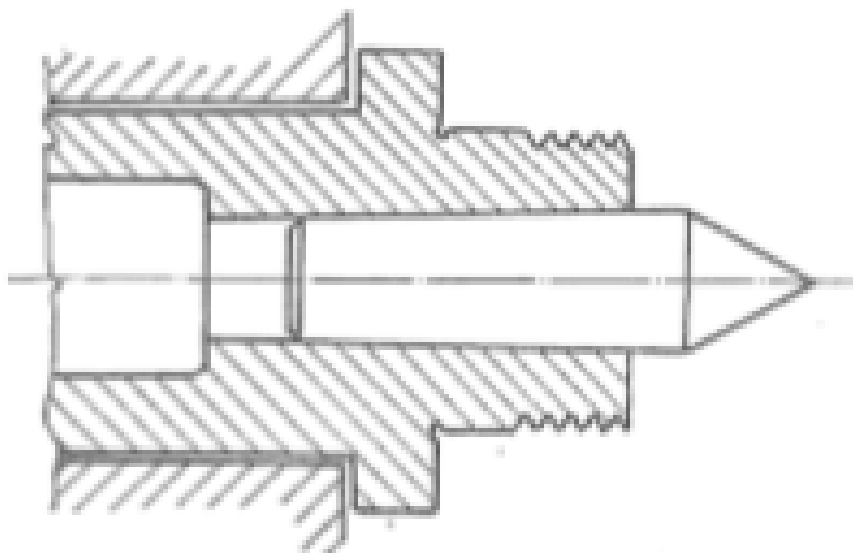


Obrázek 2.3 – Ukázka upínání mezi hroty⁹

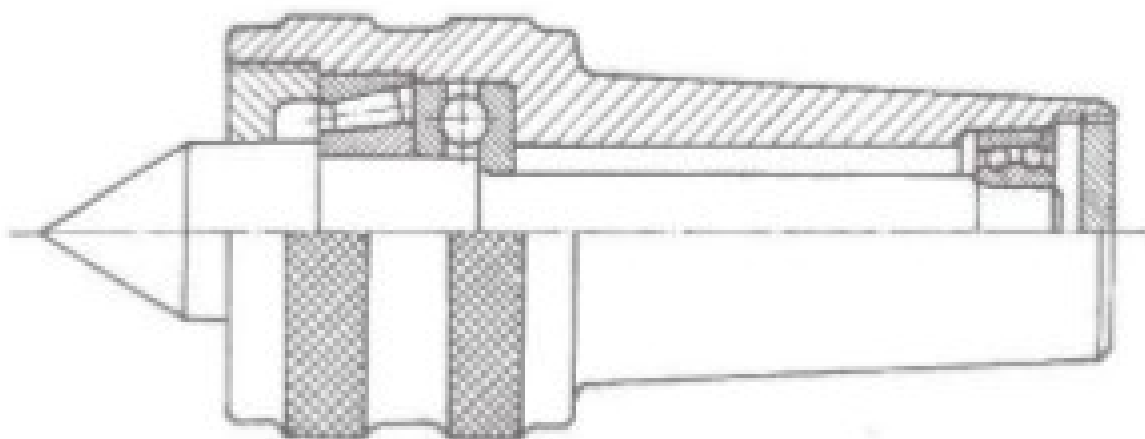
Součást určenou pro obrábění umístíme nejdříve na hrot vřeteníku s unášecím srdcem. Na druhou stranu kusu je již nastavený do potřebné vzdálenosti koník. Tento koník má hrotovou pinolu, kterou pomocí otáčení kliky umístěné na koníku přisouváme do středícího důlku. Postup pro sundání součásti je proveden pouze opětovným použitím kliky a jen odjetí pinoly koníku od součásti. Jde o velice jednoduchý princip upínání.^{6,8}



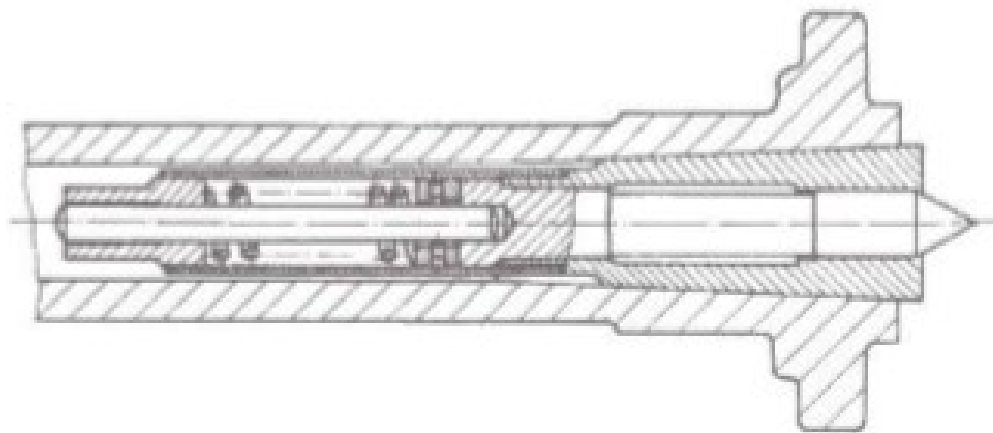
Obrázek 2.4 – Středící důlky⁸



Obrázek 2.5 – Pevný hrot ⁸



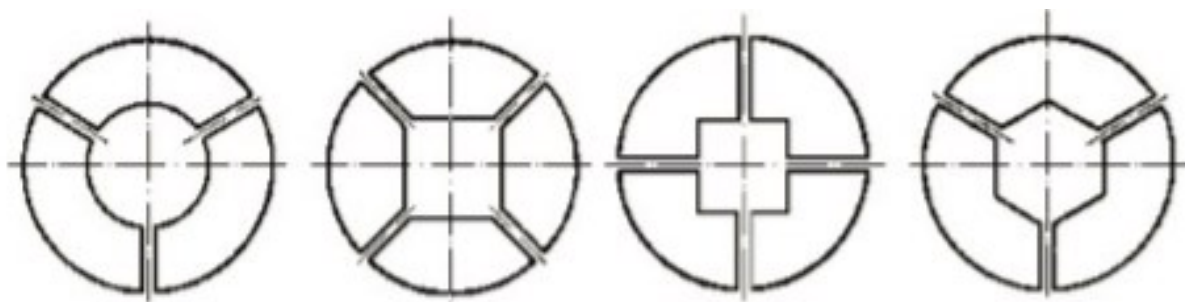
Obrázek 2.6 – Odpružený hrot ⁸

Obrázek 2.7 – Odpružený hrot⁸

2.2.3. Kleština

Upínání do kleštiny využijeme u součástí s průřezem čtvercovým, kulatým nebo šestihranným za vnější průměr, najdeme je spíše v sériové či hromadné výrobě. Kleština musí obsahovat samosvorný člen, který má za úkol zamezit přerušení upínací síly, k němuž dochází především za zvýšených otáček. Ovšem při nižších otáčkách, můžeme dosáhnout malého obvodového házení v rozmezí mezi 0,0015 až 0,03 mm.

Během upnutí je obepnut obrobek po velké ploše, čímž jej můžeme využít pro tenkostěnné součásti bez obav o poškození, jelikož se upínací síla rozprostře na velkou plochu. Další pozitivní vlastností je vysoká přesnost obrobené plochy.^{6,15}

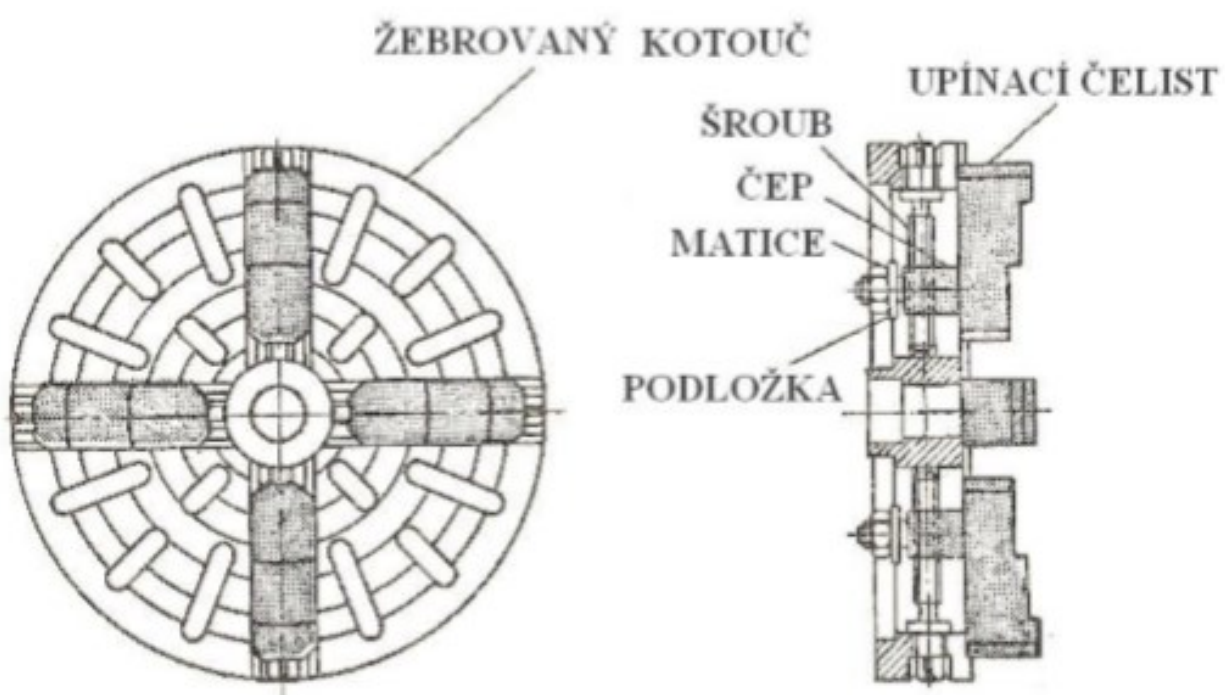
Obrázek 2.8 – ukázky průřezů pro upnutí do kleštiny⁶

2.2.4. Upínací desky

Upínací desku využijeme u upínání rozměrnějších, těžších obrobků a součástí nepravidelných tvarů. Jejich využití je převážně v kusové nebo malosériové výrobě. Princip upínacích desek je velice podobný univerzálnímu sklíčidlu. Největší rozdíl mezi těmito upínacími prvky je v nastavení čelistí. U upínacích desek je možné nastavení různé vzdálenosti čelistí bez ohledu na nastavení vzdálenosti ostatních. Upnutí obrobku je zde prováděno však stejně jako u univerzálního sklíčidla. Jde o upínání za vnitřní plochu a vnější plochu. Čelisti do upínací desky můžeme také upravovat dle našich potřeb. Avšak díky nastavení vzdálenosti od středu pro každou čelist samostatně nám nabízí mnohonásobné možnosti při upínání i nepravidelných obrobků, jež by nebylo možné uchytit do čelistí na univerzálním sklíčidle, kde by bylo nutné do sklíčidla upnout nejdříve vytvořený nový upínací sestavu.^{6,15}



Obrázek 2.9 – ukázky čelistí do sklíčidel a upínacích desek⁵



Obrázek 2.10 – ukázka upínací desky⁵

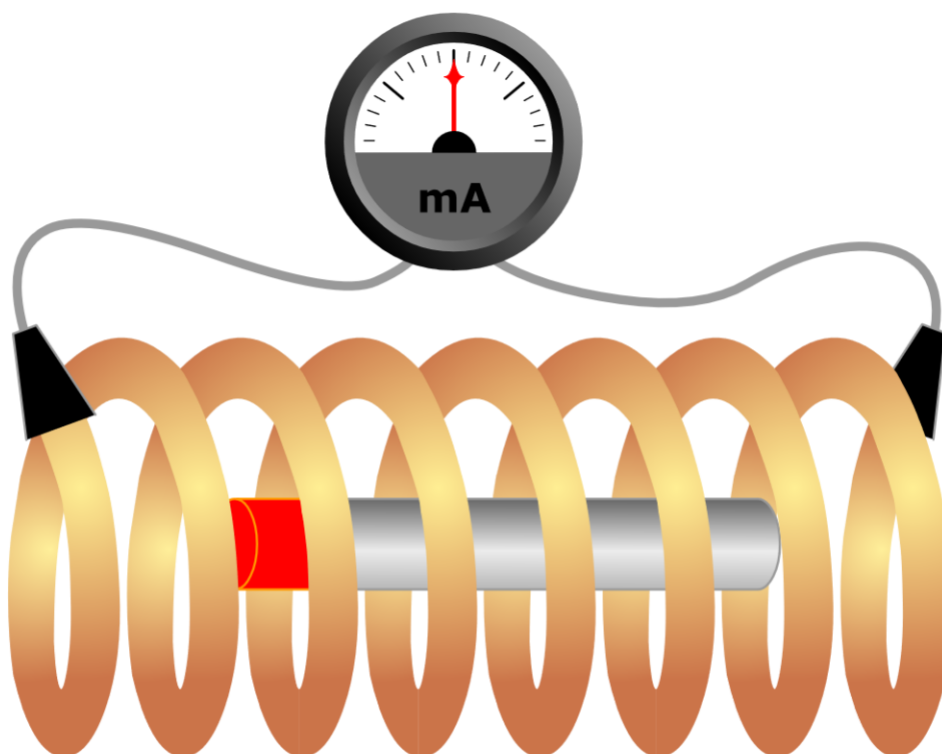


Obrázek 2.11 – ukázky čelistí do sklíčidel a upínacích desek⁴

2.2.5. Speciální upínací desky

Pro tenkostěnné materiály je zde nový systém lícních desek. Jde o desky magnetické nebo elektromagnetické. U magnetických upínacích desek je možné upnout více kusů najednou. Důvodem je to, že na obrobek vlivem magnetické nebo elektromagnetické plochy dochází k působení upínacích sil po celé ploše, na rozdíl od čelistových desek kde působily sílu pouze čelisti na dotykových místech s obrobkem. Magnetické síly nám v dnešní náročné době na rychlost výroby umožňují velice rychlé upnutí a odepnutí kusů.

Princip elektromagnetu je velice jednoduchý. Jde pouze o průchod elektrického proudu cívkou, jenž musí mít Feromagnetické jádro. Průchodem proudu se vytvoří magnet jehož póly závisí na směru průchodu proudu cívkou. Otočením zdroje stejnosměrného napětí se póly otočí. Severní pól můžeme snadno zjistit pomocí poučky vedení proudu podle pravé ruky. Prsty směřují ve směru proudu.¹⁴



Obrázek 2.12 – zmagnetizování tyče¹²

3. Návrh vlastního řešení daného problému.

Při zavádění výroby nových kusů je nutné provést technologický průzkum a několik pokusů. Po sesbírání všech potřebných dat je nutné stanovit správný technologický postup. Jelikož se jednalo o obrobek s malými styčnými plochami, z tenkostěnného materiálu a od zadavatele s velice přísnými tolerancemi přesnosti, bylo dosavadní řešení nevyhovující. Nedocházelo k ideálnímu vystředění součásti a docházelo k jeho poškození při působení upínacích sil. Proto bylo nutné stanovit nový styl upínání, aby nedocházelo k nežádoucím vlastnostem pro odběratele.

Obrázek 3.1 – součást pro výrobu ²¹

3.1. První návrh elektromagnetického sklíčidla

Při hledání rychlejšího, praktičtějšího a efektivního řešení jsem narazil na firmu SCHUNK. Díky této firmě jsem získal možnost využít jejich technologii elektromagnetických upínacích desek. Navrhl jsem elektromagnetickou desku s radiálními póly určené pro soustružnické práce na kroužcích a kotoučích.

První prototyp byla elektromagnetická deska, která byla vysoustružená na přesný průměr dodávaného odlitku. Z důvodů nutnosti obrábění součásti z obou stran, musely se připravit dvě Elektromagnetické desky. První byla použita pro uchycení za větší vnitřní průměr. Druhou pro obrábění za menší průměr. Ovšem po prvních pár testovacích kusech se vyskytl značný problém se středěním obrobku. Při kterém docházelo k upnutí obrobku za ještě neopracovanou plochu. To mělo za následek nežádoucí mezeru z důvodu přesného průměru na magnetické desce a neobrobenému průměru, vznikaly rozdíly v průměrech a tím ke špatnému vysoustružení. Tato mezera vedla při působení obráběcích sil k posunutí obrobku a výrobních nepřesností. Popřípadě až k obtížnému nasazování obrobku. Při použití hrubší síly pro nasazení docházelo k poškození obrobku škrábanci.

Elektromagnetická deska byla umístěna na stroji CTX beta 800, který již firma vlastnila.

3.2. Středění obrobku na magnetickém sklíčidle

V dalším kroku došlo ke zmenšení elektromagnetické desky, aby zůstala větší mezera mezi obrobkem a deskou. Dále jsem opatřil EM desku otvory po celém obvodu. Počet jsem stanovil na 6 a jsou rozděleny rovnoměrně po 60°. Do těchto otvorů byl přidán pevný středící kolík o průměru 6 mm. Délka kolíků byla stanovena na -0,1 mm oproti předpokládané hodnotě vnitřního průměru obrobku.

Dalším důležitým bodem bylo vytvoření zahluubení do průměru desky, které mělo za úkol odstranit nutnost dvou EM desek, ale pouze jednu. Po vytvoření tohoto zahluubení vzniklo místo pro příjezd nástroje a všechny obráběcí kroky probíhaly na jedno upnutí. Tento způsob odstranil časově náročné manuální otáčení obrobku pro obrábění čel.



Obrázek 3.2 – magnetická deska se středícími kolíky

3.3. Úprava elektromagnetické desky

I přes předchozí úpravu EM desky nedošlo k požadovanému zlepšení. Stále docházelo při obrábění VBD destičkou boční čelo nebo sražení hrany k mírným odchylkám důsledkem posunutí obrobku vyvolaný obráběcími silami. Proto byly pevné čepy po obvodu EM desky zkráceny o 0,1 mm a přidán ještě jeden typ kolíků. Šlo o válcové kolíky a jejich špička byly na stroji osoustružena podle průměru obrobku. Tyto kolíky byly ovšem oproti předchozím na pružince, jež měla za úkol eliminovat sílu obráběcích sil a zajistit stálou pozici obrobku na jednom místě.

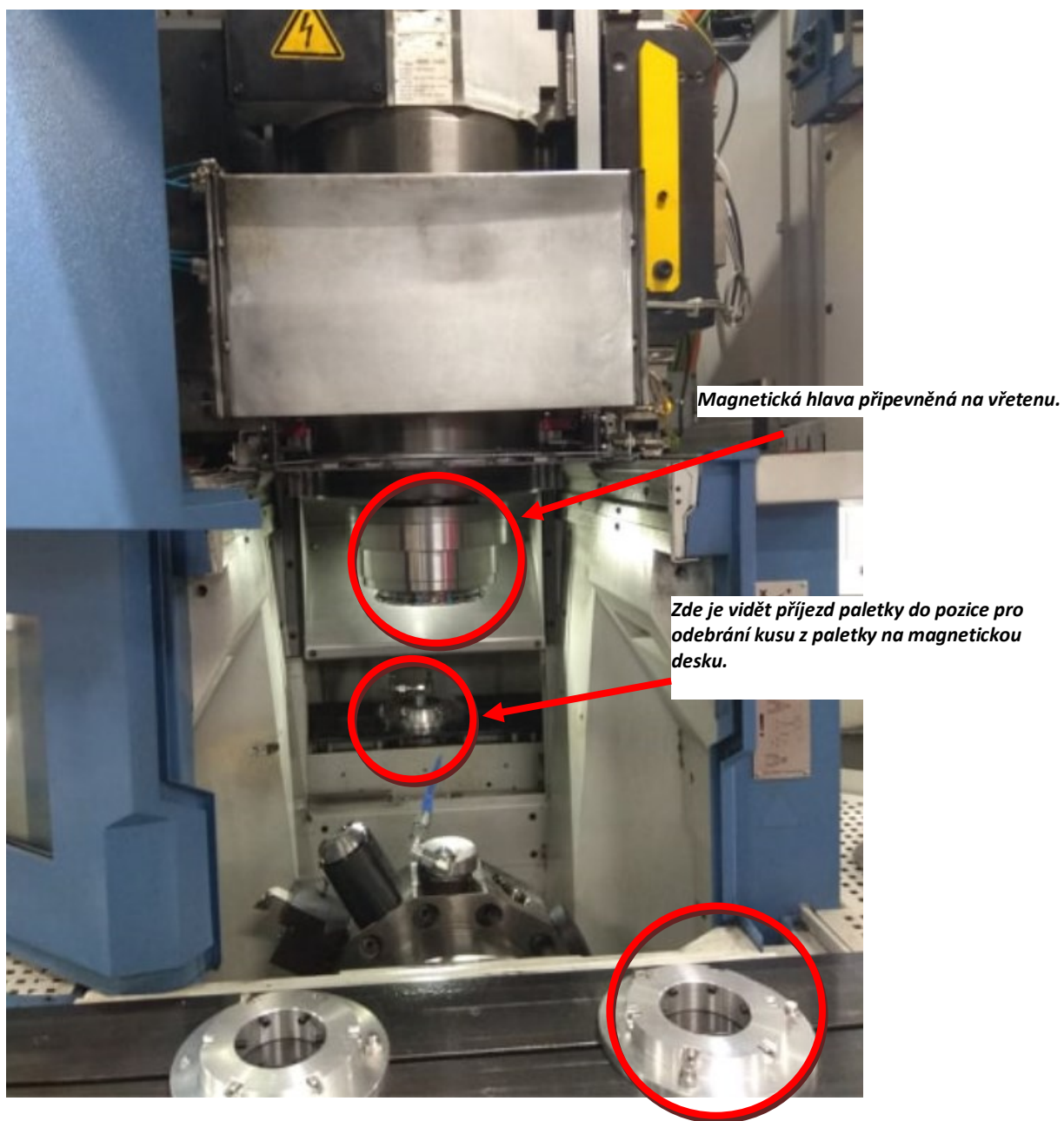
Dalším bodem bylo zahloubení do průměru desky. Toto zahloubení bylo důvodem pro možnost obrábění druhého čela bez otáčení obrobku. Šlo o zahloubení pro vytvoření prostoru pro příjezd nástroje. Díky tomuto řešení nebylo nutné mít dva rozměrové typy EM desky. Následkem bylo velké ušetření strojního času a zjednodušení výroby.

Zprvu ovšem velice hrozilo riziko nabourání při obrábění, jelikož se nástroj dostával do malé vzdálenosti od obrobku a EM desky. Proto bylo nutno, aby byl program napsán velice pečlivě a přesně.

Díky dobře napsanému programu a obrábění pouze na jedno upnutí jsme se dostaly na čas 15 sekund pro upnutí obrobku a jeho přesun na počáteční souřadnice. A celkový čas soustružení byl naměřen na tři minuty.

3.4. Zautomatizování výroby.

Dosavadní testování bylo prováděno na stroji CTX beta 800. Tento stroj ovšem byl nedostatečný pro požadovaný objem výroby a další potřebné prvky pro zautomatizování výroby. Z tohoto důvodu bylo pro výrobu nutné zvolit nový stroj. Se zohledněním všech požadavků na rychlost a objem výroby se jako nejlepší volba zdál EMAG VL5i. Díky tomuto stroji došlo k velkému zautomatizování. Tento stroj disponuje dopravníkem, který dopraví jednotlivé kusy do pozice pro vřetenou.



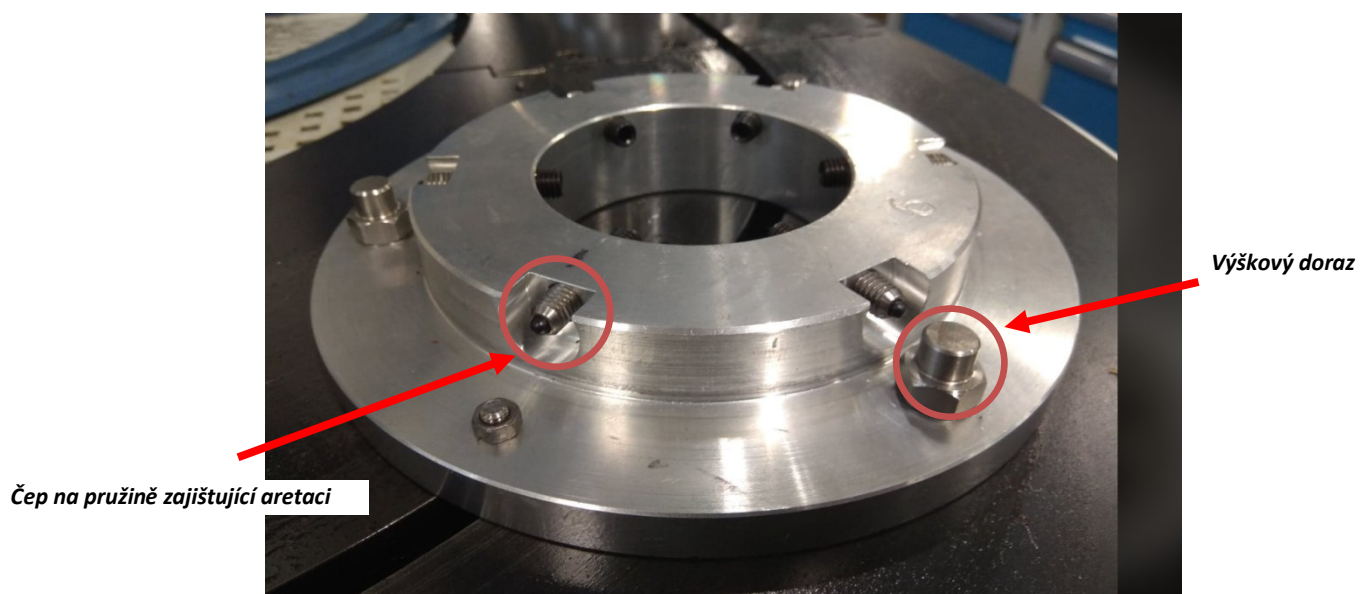
Obrázek 3.3- Upínač v základní poloze.

Paletka pro uchycení a dopravu obrobku.

Obrázek 3.4 – finální magnetická deska. ²¹

3.5. Řešení upínání na dopravníku

Pro dopravu odlitku bylo nutné navrhnout správnou paletku. Tato paletka má podobný středící princip jako EM deska. Paletka byla opatřena stejnými kolíky na pružině, aby došlo k ideálnímu vystředění odlitku.



Obrázek 3.5 – finální magnetická deska.

3.6. EMAG VL5i

Jde o svislé soustružnické centrum. Vybavené revolverovou hlavou s nástroji na 12 pozic. Tento stroj byl vybrán díky výbavě dopravníku, díky kterému je možno zavést plnou automatizaci. Dále nám stroj vyhovuje díky posuvu upínací hlavy pro obrobek k paletce a jde ho plně využít i v případě namontování magnetické upínací desky. Díky tomuto stroji dochází k závratnému snížení potřebného času na obrobení obrobku a eliminaci lidských chyb.¹²

Technologické údaje:

max. Průměr sklíčidla 250 mm	Rychlý posuv v X / Z 60/30 m / min
max. Průměr výkyvu 270 mm	Max. Průměr obrobku 220 mm
max. Průměr obrobku 220 mm	Maximální výška obrobku 175 mm
max. Výška obrobku 175 mm	

Zdvihy os:

Osa X 660 mm	Osa Z 300 mm
--------------	--------------

Technologie vřetena motoru:

Maz. Rychlost 4500 U / min	Osa C 0,001 stupně
Výkon pohonu 27 KW	Přívod chladicí kapaliny centrálně přes
Kroutící moment 300 Nm	vřeteno

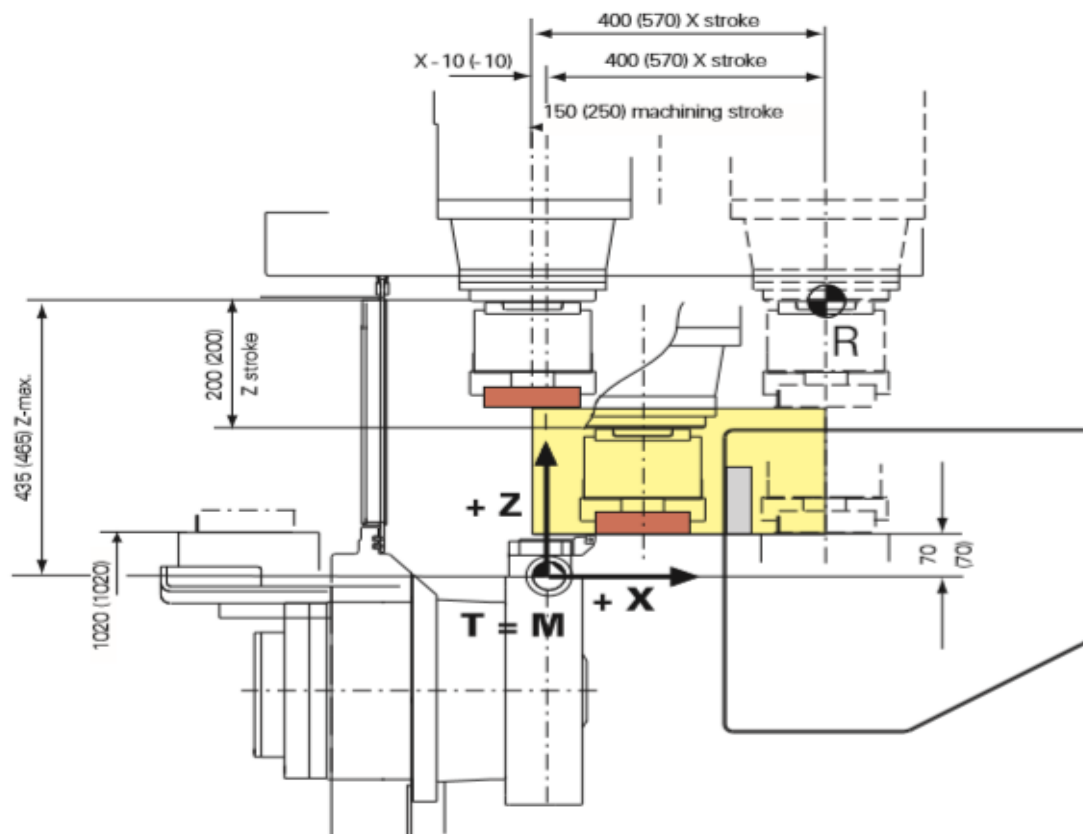
Revolverová hlava:

Nástrojová věžička s 12 stanicemi	Nm
Držák nástroje VDI40	Přívod chladicí kapaliny do nástroje uvnitř
Pohon nástroje 6000 ot / min, 8,5 KW, 40	



Obrázek 3.6 – finální magnetická deska. ¹²

3.6.1. Posuvy EMAG VL5i



Obrázek 3.7- Znázornění drah a maximálních posuvů stroje EMAG VL5i. ¹²

3.6.2. Výpis použitých nástrojů potřebné pro obrábění:

Použité VDI držáky:

výrobce	Označení VDI držáku	Počet kusů	Odkaz WWW
EWS tools	4.4025/20	1Ks	4.4025/20
EWS tools	4.4025/20	1Ks	4.4025/20
EWS tools	16.4025/20L1=98	1Ks	16.4025/20L1=98

Použitá tělesa nožů:

výrobce	Označení tělesa nože	Počet kusů	Odkaz WWW
ISCAR	SSSCL 2525M-12	1Ks	3600981
PRAMET	A20Q-SDQCR 11	1Ks	A20Q-SDQCR 11
ISCAR	SSSCR 1616H-09	1Ks	3600983

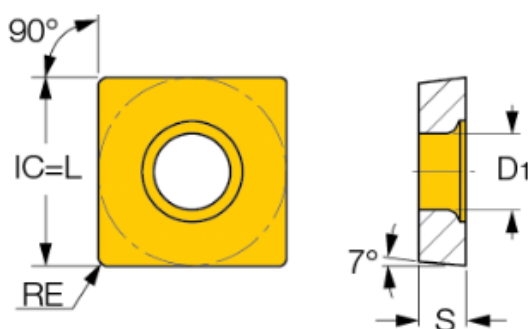
Použité VBD:

výrobce	Označení VBD	Počet kusů	Odkaz WWW
ISCAR	SCMT 120408-SM, IC830	1Ks	5568584
ISCAR	DCMT 11T304-SM, IC530N	1Ks	5591869
ISCAR	SCMT 09T304-SM, IC8150	1Ks	5508155

Tabulka 1.1 – použité nástroje

Nástroj na pozici T1 (SCMT 120408-SM; IC830)

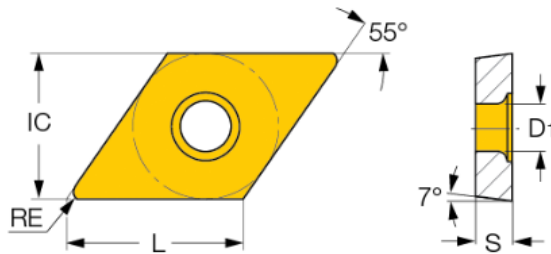
Výměnná břitová destička SCMT 120408-SM; IC830 je použita pro hrubování čel.



Obrázek 3.8 – Destička pro hrubování.⁷

Nástroj na pozici T2 (DCMT 11T304-SM; IC530N)

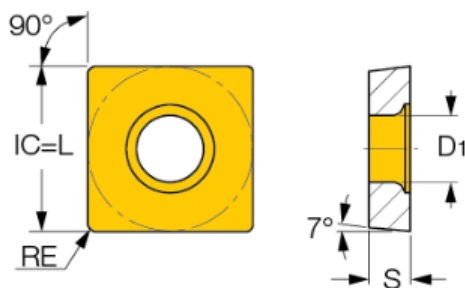
Výměnná břitová destička DCMT 09T304-SM; IC8150 je použita pro srážení hran. Povlak destičky je TiCN+Al₂O₃+TiN



Obrázek 3.9 – Destička pro srážení hran. ⁷

Nástroj na pozici T3 (SCMT 09T304-SM; IC8150)

Výměnná břitová destička SCMT 120408-SM; IC830 je použita pro dokončování čel. Povlak destičky je TiCN+TiN.



Obrázek 3.10 – Destička pro dokončování čel. ⁷

3.6.3. Tvorba CNC kódu.

Vytvoření CNC kódů pro EMAG VL5i bylo náročné z důvodů malých prostorů pro nástroje. Součást je obráběna pouze na jedno upnutí, čímž se nám výrazně zlehčila práce. Bylo potřeba napsat pouze jeden program pro obrábění součástky a pojezdy vřetene. Avšak kvůli automatizaci výroby je stroj opatřen dopravníkem. Tento dopravník potřebuje svůj vlastní program.

Programy byly psány ručně a postupovali jsme podle ISO kódu. Na začátku programu musí být stanoveny veškeré podrobné informace. Jako je rychlost otáčení vřete, počáteční umístění obrobku a náš výchozí bod.

Náhled CNC programu:

```
#20=0.22(POSUV PRI HRUBOVANI CELA)
#21=1.00(POSUV NAJEZDU PRI HRUB. CELA)
#22=3.00(POSUV NAJEZDU PRI HRUB. CELA)
#23=0.15(POSUV SRAZENI CELA 142.2)
#24=0.15(POSUV DOKONCENI CELA 142.2)
#25=0.20(POSUV DOKONCENI 142.2)
#26=0.15(HRUBOVANI ZADNIHO CELA)

/M0

N1(OBRABENI CELA DIRY 142.2)
G55T0909 G95 G96 S330 G40 M3 P1
M8
G4 X0.5
G0 X135 Z10
G0 Z5.5
(1. TRISKA)
G1 Z2.25 F#22(NAJEZD Z)
G1 X137 F#21(NAJEZD X)
G1 X143 F#20(TRISKA)
G0 Z3.5(ODJEZD Z)
G0 X150(ODJEZD X)
G1 Z2.25 F#22(NAJEZD Z)
G1 X143 F#20(TRISKA)
G0 Z5(ODJEZD)
G4 X0.01
G0 X135 Z5.5(NAJEZD)

(2. TRISKA)
G1 Z1.6 F#22(NAJEZD Z)
G1 X137 F#21(NAJEZD X)
G1 X143 F#20(TRISKA)
G0 Z3.5(ODJEZD Z)
G0 X150(ODJEZD X)
G1 Z1.6 F#22(NAJEZD Z)
G1 X143 F#20(TRISKA)
G0 Z5(ODJEZD)
G4 X0.01
G0 X135 Z5.5(NAJEZD)

(3. TRISKA)
G1 Z0.93 F#22(NAJEZD Z)
G1 X137 F#21(NAJEZD X)
G1 X143 F#20(TRISKA)
G0 Z3.5(ODJEZD Z)
G0 X150(ODJEZD X)
G1 Z0.93 F#22(NAJEZD Z)
G1 X143 F#20(TRISKA)
G0 Z5(ODJEZD)
G4 X0.01
G0 X135 Z5.5(NAJEZD)
```

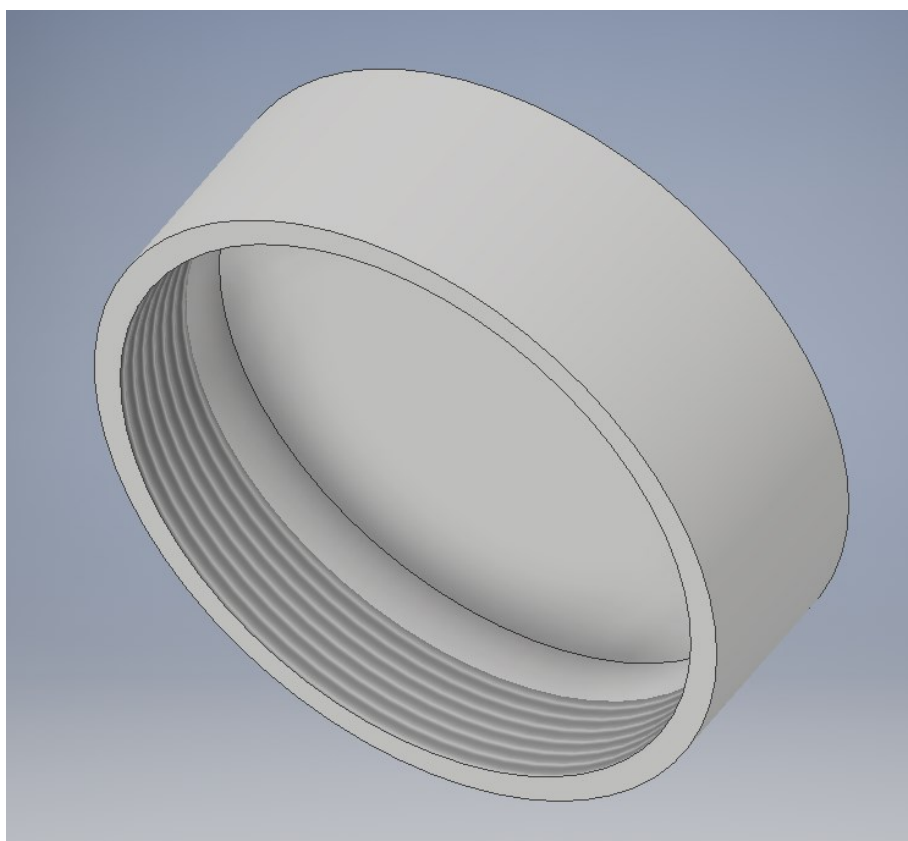
Obrázek 3.11 – Ukázka CNC programu.

3.7. Možnosti dalších upínacích součástí

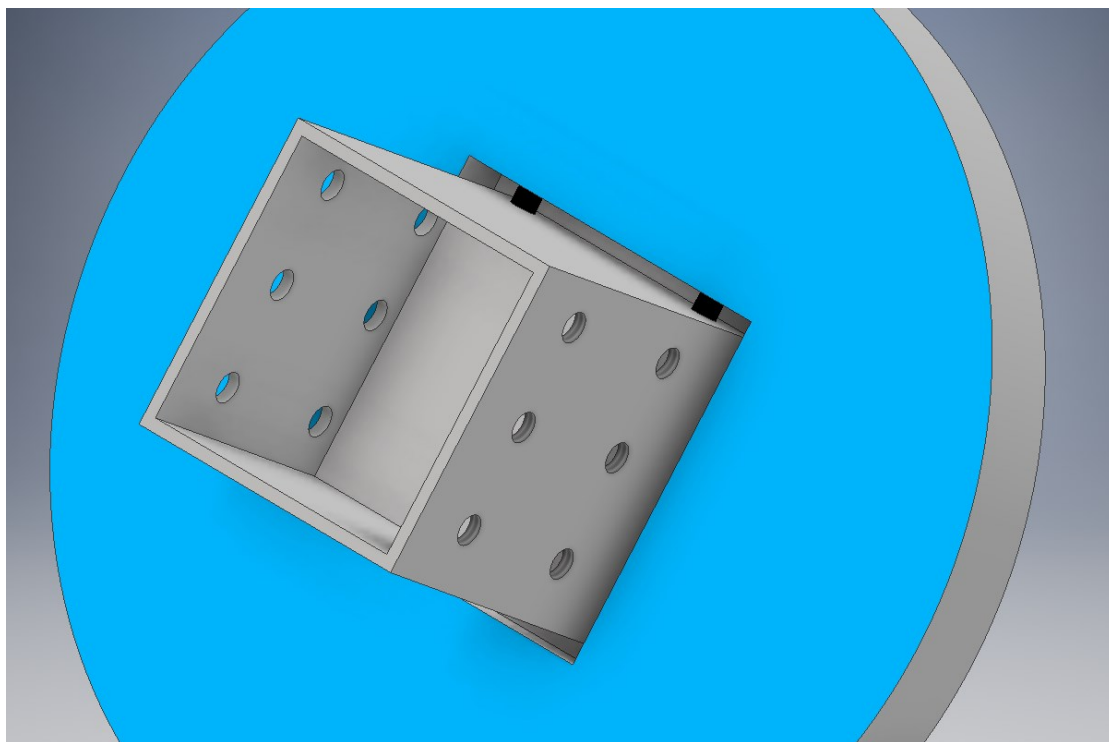
Tato upínací metoda je ideální pro upínání veškerých tenkostěnných součástek z tenkého plechu. Při této upínací technologii nedochází k deformaci stěn obrobků kvůli upínací síle čelistí.

Elektromagnetická deska může být po celém obrobku, tudíž dále eliminujeme průhyby tenkostěnných materiálů a dokážeme je díky desce výborně upevnit po celé ploše obrobku. Nemusí být obráběný tvar pouze kruhového průřezu (viz obrázek 3.13). Je možno upnout i složité součásti jako jsou několikastěnné obrobky. V případě silnějších magnetů může být možné i těžší a objemnější objekty.

Příkladem pro upnutí můžeme uvést nejruznější víčka se závitem, nejruznější kruhové součásti do spojek. Pro součásti, které budou dále plnit ozdobnou činnost.



Obrázek 3.12 – Ukázka víčka se závitem pro upnutí.



Obrázek 3.13 – Ukázka upínání nekruhového průřezu za vnější plochy.

3.7.1. Možnost upínání nekovových součástí

Jako další se nabízí upínání i nekovových tedy ne magnetických odlitků a kusů. Příkladem může být například hliník. Tyto druhy kovů je možno upínat způsobem přitlačných dílců. Když budeme mít tenkostěnný nebo malý obrobek je možné je přes magnetickou sílu, která projde tímto malým nebo tenkostěnným materiálem a působit na dílec již magnetický který jej upevní do požadované pozice. Středění je zde možné dosáhnout u kruhových součástek stejně jako u mého návrhu, popřípadě i u čtvercových či jiných průřezů.

Velice důležité je místo obrábění na odlitku. V případě nerovnoměrných odlitků a dodávaných kusů je možné desku rozdělit například na jednotlivé části, či ji naprosto přizpůsobit obráběnému kusu. Můžeme vyfrézovat i všelijaké ornamenty pro nasunutí kusu pro jeho uchycení do desky a přizpůsobit i těleso, na nějž bude působit magnetická síla a přichytí těleso.

4. Diskuze experimentů.

4.1. Problémy středění obrobku

I přes předchozí přidání středících kolíků, nebylo stále dosaženo požadované přesnosti. Vlivem obráběcích sil při obrábění docházelo k velkému tlaku na obrobek. To způsobilo, že i přes přítomnost pružin docházelo k neúplnému vystředění obrobku. Proto bylo nutné přidat jeden pevný kolík, který při působení obráběcích sil nedovolil se obrobku posunout dále, než jsem stanovil tímto kolíkem. Kolík končil na průměru o 0,2mm menší než byl průměr obrobku.

4.2. Problémy s přesností u konečné verze

Dosahovaná přesnost $\pm 0,1\text{mm}$ na průměr a výšku obrobku

Chybné kusy:

	Nákres		
	11	182	142,2
Výrobky: (chybné)	11,01	181,82	142
	11	181,84	142,02
	11,52	181,86	141,2
	10,99	181,79	142,01
	10,96	181,81	142,11
	10,96	181,79	142,08
	10,86	181,7	142,15

Tabulka 1.2 – seznam tolerančních rozdílů u vadných dílů

Dobré kusy:

Výrobky: (dobré)	11	181,91	142,11
	11,05	181,91	182,11
	11,04	181,93	142,1
	11,02	181,91	142,14
	11	181,94	142,14
	11,01	181,95	142,13
	11	181,925	142,205
	11,01	181,93	142,22
	11,01	181,92	142,21
	11,03	181,91	142,18
	11,01	181,935	142,17
	11,08	181,91	142,17
	10,98	181,93	142,19
	11,02	181,925	142,18
	11	181,93	142,17
	11,01	181,915	142,18
	11	181,91	142,13
	11,025	181,925	142,08

Tabulka 1.3 – seznam tolerančních rozdílů u dobrých dílů

Měření bylo provedeno z 25 kusů, které byly odebrané z celkového objemu produkce 250 kusů, který probíhal na finální verzi upínače. Tyto odchylky jsme následně vykompenzovaly tvrdšími pružinami na středění obrobku. Po této výměně došlo k obrovské eliminaci tolerančních chyb.

5. Technicko-ekonomické zhodnocení

Díky inovacím upínací hlavy bylo dosaženo:

- Zkrácení času upínání a urychlení produkce,
- snížení potřeby údržby,
- snížení počtu kroků v technologickém postupu,
- snížení nákladu na výrobu

5.1. Ekonomické zhodnocení pro celkovou výrobu obrobku

Při prvních pokusech na čelistovém sklíčidle stroje CTX beta 800, byly časy nejdelší. Celkové obráběcí časy obou stran bylo naměřeno na 5 minut. Do toho času jsou započteny i prostoje na výměnu nebo otočení kusů. Pro obrábění na EMAG VL5i a upínací technologii elektromagnetické hlavy je dosaženo velkého zkrácení času. Celkový čas jsem tedy stanovil na 2 minuty.

5.1.1. Cenové srovnání v přepočtu na zaměstnance

Požadovaný objem produkce vyžadovaný objednávkou je 150 tisíc kusů ročně.

Rozdíly v upínáních:

Původní: 5 minut

Původní: 750 000 minut

Nové: 2 minuty

Nové: 300 000 minut

Rozdíl mezi jednotlivými typy upínání je 450 000 minut. Což je v přepočtu 7 500 pracovních hodin zaměstnance. Při použití orientačního platu zaměstnance 130 Kč/h se nám vyčíslí cena 975 000 Kč na objem produkce pro zaměstnance. Tento čas zaměstnance při zrychlení výroby je možné převést na jinou činnost a využít jeho práci na dalším objemu produkce. A to jde o část pouze zkrácený na upínání.

5.1.2. Cenové srovnání v přepočtu na stroj

Opět je naším rozdíle 7 500 hodin vypočtených z předchozího bodu. Cena hodiny strojního času je vyčíslena na 1 300 korun českých. Po vyčíslení se nám celková cena stanoví na 9 750 000 korun českých. Tuto sumu se mi podařilo ušetřit na pracovním času stroje na celkový objem produkce. Za tuto cenu se pořídí nový stroj EMAG VL5i a ještě se ušetří. Další výhodou je, že se cena nového stroje odepisuje a snižuje výši daňového poplatku.

5.2. Ekonomické zhodnocení pro upínání

5.2.1. Cena ušetřená pouze pro upínání na zaměstnance

Doba upnutí kusu do sklíčidla byla velice proměnlivá. Záleželo na zkušenostech a rychlostech obsluhy u stroje. Průměrný čas byl stanoven na 38 vteřin. Díky nově navržené technologii jsem byl schopen tento čas mnohonásobně zkrátit. Po naměření nových časů na elektromagnetickém upínači jsem stanovil čas na 15 sekund pro výměnu kusu.

Rozdíly v upínáních:

Původní: 38 sekund

Původní: 5 700 000 sekund

Nové: 15 sekund

Nové: 2 250 000 sekund

Rozdíl mezi jednotlivými typy upínání je 3 450 000 sekund. Což je v přepočtu 958,5 pracovních hodin zaměstnance. Při použití orientačního platu zaměstnance 130 Kč/h se nám vyčíslí cena 124 605 Kč na objem produkce pro zaměstnance. Tento čas zaměstnance při zrychlení výroby je možné převést na jinou činnost a využít jeho práci na dalším objemu produkce.

5.2.2. Cenové srovnání v přepočtu na stroj

Opět je naším rozdíle 958,5 hodin vypočtených z předchozího bodu. Cena hodiny strojního času je vyčíslena na 1 300 korun českých. Po vyčíslení se nám celková cena stanoví na 1 246 050 korun českých.

5.3. Snížení potřeby údržby

Jelikož již nepoužíváme čelisti se segmenty se zoubky pro uchycení. Není nutné tyto zoubky kontrolovat a měnit v případě ztupení, naštípnutí nebo dokonce vylomení.

Obrázek 5.1 – Upínací segment do čelistí ²¹

5.4. Celkové náklady na VBD

Oproti předchozí upínací technologii jsme dosáhly na trvanlivosti o 30 kusů déle. V tabulkách níže můžete vidět celkové náklady výměnných břitových destiček na výrobu jednoho kusu.

V objemu celkové produkce 150 tisíc kusů jde o rozdílnou částku, kterou ušetříme a opět zvýšíme výnos firmy. Tato hodnota je 79 500 Korun českých.

Tabulka 1.4 - nákladů na nástroje před změnou technologie

Pozice	Počet	Typ	Označení	Cena [Kč]	Počet břitů	Trvanlivost na břit [Ks]	Cena břitu [Kč]	počet břitů použitých na kus	Cena břitu na jeden díl [Kč/Ks]	Dodavatel
T9	1	VBD	SCMT 120408-19, IC830	180	4	90	45,00	1	0,50	ISCAR
T2	1	VBD	DCMT 11T304-FSM, IC520N	150	2	90	75,00	1	0,83	ISCAR
T11	1	VBD	SCMT 09T304-SM, IC8150	140	4	90	35,00	2	0,78	ISCAR
2,11										

Tabulka 1.5 - nákladů na nástroje po změně technologie upínání:

Pozice	Počet	Typ	Označení	Cena [Kč]	Počet břitů	Trvanlivost na břit [Ks]	Cena břitu [Kč]	počet břitů použitých na kus	Cena břitu na jeden díl [Kč/Ks]	Dodavatel
T9	1	VBD	SCMT 120408-19, IC830	180	4	120	45,00	1	0,38	ISCAR
T2	1	VBD	DCMT 11T304-FSM, IC520N	150	2	120	75,00	1	0,63	ISCAR
T11	1	VBD	SCMT 09T304-SM, IC8150	140	4	120	35,00	2	0,58	ISCAR
1,58										

Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo navrhnout novou technologii upínání složitých součástí. Bakalářskou práci jsem zpracovával pro firmu ZLKL, s. r. o. Tato firma sídlí v Lošticích. Ve spolupráci se zkušenými pracovníky této firmy a odborným dohledem vedoucích, se podařilo vytvořit nový styl upínání, který byl ve firmě odsouhlasen a uveden do výroby. V úvodní části bylo popsáno prvotní provedení výroby firmy a teoretické informace ohledně použitých věcí a strojů během vývoje.

V hlavní textové části je popsán celkový vývoj nové upínací desky, přes problémy středění a volbu nového stroje EMAG VL5i a použitých nástrojů na obrábění. Dále bylo provedeno technicko-ekonomické zhodnocení, které nám stanovilo, zda byl vývoj úspěšný nebo neúspěšný. Díky výpočtům provedeným v tomto zhodnocení jsem docílil úspěšného vývoje ke zlepšení. Výpočty ukázali mnohonásobné zlevnění a urychlení produkce.

Závěrem tedy můžeme stanovit, že při zvolené nové technologii lze na jednom stroji vyrobit provést výrobu na jedno upnutí s požadovanou přesností a rychleji než na původním stroji s původním provedením.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc. a panu Ing. Zdenku Tollrianovi za odborné a zkušené vedení při tvorbě mé bakalářské práce a za předané zkušenosti.

Seznam použité literatury:

- [1] ZLKL, s.r.o., o společnosti. [online] Dostupné z: <http://www.zlkl.cz> [cit. 4. ledna 2018]
- [2] CHVÁLA, Břetislav. Přípravky. 1. vyd. Praha: SNTL;Alfa, 1988, 275 s.
- [3] MRKVICA, Ivan. Návod ke cvičení z obráběcích strojů. 2. vyd. Ostrava: VŠB -Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-1053-0.
- [4] Katalog: Bison-bial, č. 1 – 2015. [online] Dostupné z: <https://www.bison-bial.com/public/data/resource/upload/00244/243372/bison-2014-7-de-en.pdf>
- [5] MÁDL, Jan a Jaroslav BARCAL. Základy technologie II. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002, 55 s. ISBN 80-01-02610-8.
- [6] JANYŠ, Bohumil a Karel RAFTL. Upínání obrobků na soustruhu. 1. vyd. Praha: SNTL, 1961, 115 s.
- [7] Katalog nástrojů. Iscar nástroje [online]. ISCAR ČR, 2020 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.iscar.com>
- [8] SOVA, František. Technologie obrábění a montáže. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2001, 273 s. ISBN 80-7082-823-4.
- [9] Příručka základů soustružení. Moodle2.voskop [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U03_Prirucka_zakladu_soustruzeni.pdf
- [10] CTX beta 800 linear. [online] Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/products/lathes/universal-lathes/ctx/ctx-beta-800-linear#Intro> [cit. 18. května 2019]
- [11] CHVÁLA, Břetislav a Josef VOTAVA. Přípravky. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 1980, 352 s.
- [12] VAŠČÁK, Vladimír. Elektromagnety. Vascak.cz [online]. 2013 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/templateimg.php?s=mag_indukce_accel&l=cz
- [13] Katalog: DMG Vertical Turning Machine, č. 1 – 2015. [online] Dostupné z: http://www.emagromania.ro/sites/default/files/pdf/VL3_5_Y_gb.pdf [cit. 18. května 2019]
- [14] DRIENSKY, Dušan a Terézia LEHMANNOVÁ. Strojní obrábění II: Soustružení: Učeb.text pro stř.odb. učiliště. 1.vyd. Praha: SNTL, 1991. ISBN 80-03-00333-4.
- [15] T-support [online]. praha, 2012 [cit. 2016-04-5]. Dostupné z: <https://www.tsupport.cz/kat/upinani-rotacnich-obrobku-2-cast-7>
- [16] MAREK, Jiří a Oldřich UČEŇ. CNC obráběcí stroje. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2010. ISBN 978-80-248-2329-4.

- [17] MAREK, Jiří a Petr BLECHA. Konstrukce CNC obráběcích strojů. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: MM Publishing, 2010. MM speciál. ISBN 978-80-254-7980-3.
- [18] ERDL, BERT P. [I]High-speed machinig.[/I] Deaborn, Michigan : Society of Manufacturing Engineering, 2003. ISBN 0–87263–649–6.
- [19] SHAW, Milton C. [I]Metal Cutting Principles.[/I] 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0–19–514206–3.
- [20] STEPHENSON, D. A.; AGAPIOU. J. S. [i]Metal cutting theory and practice.[/i] New York : Marcel Dekker, Inc., 1997. ISBN 0–8247–9579–2.
- [21] Interní dokumenty společnosti ZLKL, s.r.o.